

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-267799

(P2002-267799A)

(43) 公開日 平成14年9月18日 (2002.9.18)

(51) Int.Cl.⁷

G 2 1 K 1/06

識別記号

F I

G 2 1 K 1/06

テマコード* (参考)

D

C

G

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2001-62868 (P2001-62868)

(22) 出願日 平成13年3月7日 (2001.3.7)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 杉崎 克己

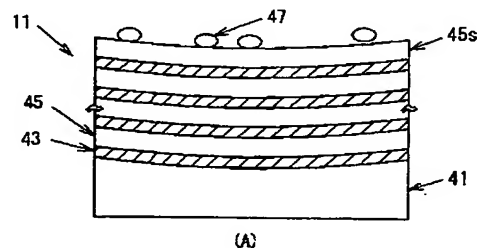
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 多層膜反射鏡及び多層膜反射鏡の再生方法

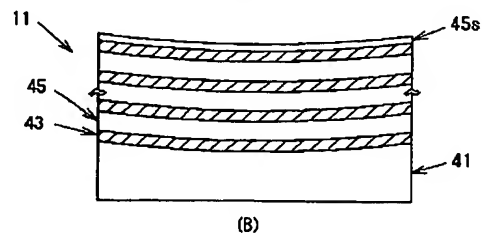
(57) 【要約】

【課題】 X線照明装置のメンテナンス費用を低く抑えることができる多層膜反射鏡の再生方法を提供する。

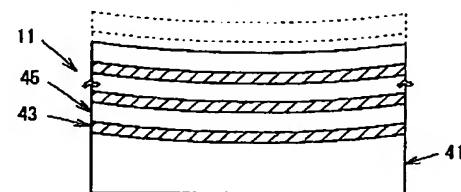
【解決手段】 屈折率の異なる少なくとも2種類以上の物質が交互に積層された多層膜構造が基板上に形成された多層膜反射鏡において、前記多層膜反射鏡の劣化した光学性能を回復させるために、前記基板上に形成された多層膜を表面から所望の量だけ除去することを特徴とする多層膜反射鏡の再生方法とした。



(A)



(B)



(C)

BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率の異なる少なくとも2種類以上の物質が交互に積層された多層膜構造が基板上に形成された多層膜反射鏡において、

前記多層膜反射鏡の劣化した光学性能を回復させるために、前記基板上に形成された多層膜を表面から所望の量だけ除去することを特徴とする多層膜反射鏡の再生方法。

【請求項2】 前記多層膜を構成する物質の1種類としてSiを含み、

前記基板上に形成された多層膜を表面から所望の量だけ除去した後にSi層が表面に出るようにすることを特徴とする請求項1に記載の多層膜反射鏡の再生方法。

【請求項3】 屈折率の異なる少なくとも2種類以上の物質が交互に積層された多層膜構造が基板上に形成された多層膜反射鏡において、

前記基板上に形成された多層膜を表面から所望の量だけ除去することによって、劣化した光学性能が回復されていることを特徴とする多層膜反射鏡。

【請求項4】 X線源から放出されるX線を反射する多層膜反射鏡を有するX線照明装置において、前記多層膜反射鏡が、請求項3に記載の多層膜反射鏡であることを特徴とするX線照明装置。

【請求項5】 X線を発生させるX線源と、前記X線源から放出されるX線を反射する多層膜反射鏡を有するX線照明装置と、前記X線照明装置からのX線をマスクに導く照明光学系と、前記マスクからのX線を感光性基板に導く投影光学系とを有し、前記マスクのパターンを感光性基板へ転写する露光装置において、前記X線照明装置が、請求項4に記載のX線照明装置であることを特徴とする露光装置。

【請求項6】 請求項5に記載の露光装置を用いて、マスク上のパターンをフォトリソグラフが塗布されたウエハ上へ転写する工程を有することを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多層膜反射鏡及び多層膜反射鏡の再生方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代えてこれより波長の短いX線を使用した投影リソグラフィ技術が開発されている。この技術に使用されるX線投影露光装置は、主として、X線源、X線照明装置、照明光学系、マスクステージ、結像光学系、ウエハステージ等により構成される。

【0003】X線源には、レーザープラズマX線源またはDense Plasma Focus X線源等が

使用される。これらのX線源は、ターゲット物質をプラズマ化し、そのプラズマ光から輻射される強力なX線を利用することに特徴がある。X線照明装置は、X線源から放出されるX線を照明光学系まで導く多層膜反射鏡を含む。

【0004】照明光学系は、斜入射反射鏡、多層膜反射鏡、並びに、所定の波長のX線のみを反射または透過させるフィルター等により構成され、マスク上を所定の波長のX線で照明する。マスクの形式としては、一般的に、透過型マスクと反射型マスクがある。X線用の透過型マスクは、X線をよく通過させる物質からなる薄いメンブレン（自立膜）の上に、X線を吸収する物質を所定の形状に設けてパターンを形成したものである。しかし、実用的な大きさの寸法のメンブレンを作製することは困難である。

【0005】一方、反射型マスクは、例えば、X線を反射する多層膜上に反射率の低い部分からなるパターンを形成したものである。現在のところ、この反射型マスクが実用的と考えられている。反射型マスク上に形成されたパターンから反射したX線は、複数の多層膜反射鏡で構成された投影光学系（結像光学系）を通して、フォトリソグラフが塗布されたウエハ上に結像し、パターンがレジストに転写される。なお、X線は大気中に吸収されて減衰するため、その光路は所定の真空度に維持された真空室内に配置されている。

【0006】X線の波長域では、透明な物質は存在せず、また、物質表面での反射率も非常に低い。従来、露光装置に通常用いられているレンズや反射鏡等の光学素子は、X線露光装置には使用できない。そのため、X線用の光学系は、反射面に斜め方向から入射したX線を、全反射を利用して反射させる斜入射反射鏡や、界面での反射光の位相を一致させて干渉効果により高い反射率を得る多層膜が基板上にコーティングされた多層膜反射鏡等により構成されている。

【0007】上述の斜入射光学系は、収差が大きいため、広い視野で回折限界に近い解像力を得ることはできない。一方、多層膜反射鏡は、X線を垂直に反射することが可能であり、回折限界に近い解像力を有するX線光学系を構成することができる。したがって、軟X線投影露光装置の投影光学系（結像光学系）は、全て多層膜反射鏡で構成される。

【0008】このような多層膜反射鏡では、屈折率の異なる少なくとも2種類以上の物質が交互に積層された多層膜構造が基板上に形成されているが、その多層膜としてMo（モリブデン）とSi（シリコン）等からなる多層膜を使用すると、SiのL吸収端（12.3nm）の長波長側で最も高い反射率が得られる。しかし、波長13～15nmでは、入射角によらず反射率は70%程度である。一方、SiのL吸収端よりも短波長側では、垂直入射で30%以上の反射率が得られる多層膜はほとん

ど開発されていない。なお、多層膜反射鏡の基板材料には、形状精度が高く、表面粗さが小さく、加工が容易な石英や低熱膨張ガラス等のガラス材料が用いられている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上述のようにX線源には、レーザープラズマX線源またはDense Plasma Focus X線源等が使用されるが、このようなプラズマ光源の場合、プラズマ化するターゲット物質やプラズマによって削られる電極などの光源部品の飛散物の周囲への飛散が避けられない。その結果、プラズマ光源から発せられたX線を集光する第1段目の多層膜反射鏡にはプラズマ光源からの飛散物が付着してしまい、光学性能が劣化してしまう。したがって、このような形式のX線照明装置においては、定期的に多層膜反射鏡を新しいものに交換する必要がある、メンテナンスの費用が高価になり、半導体デバイス製造のコストが高くなってしまいう問題があった。

【0010】本発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであって、X線照明装置のメンテナンス費用を低く抑えることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、本発明は第一に「屈折率の異なる少なくとも2種類以上の物質が交互に積層された多層膜構造が基板上に形成された多層膜反射鏡において、前記多層膜反射鏡の劣化した光学性能を回復させるために、前記基板上に形成された多層膜を表面から所望の量だけ除去することを特徴とする多層膜反射鏡の再生方法（請求項1）」を提供する。

【0012】また、本発明は第二に「前記多層膜を構成する物質の1種類としてSiを含み、前記基板上に形成された多層膜を表面から所望の量だけ除去した後にSi層が表面に出るようにすることを特徴とする請求項1に記載の多層膜反射鏡の再生方法。（請求項2）」を提供する。

【0013】また、本発明は第三に「屈折率の異なる少なくとも2種類以上の物質が交互に積層された多層膜構造が基板上に形成された多層膜反射鏡において、前記基板上に形成された多層膜を表面から所望の量だけ除去することによって、劣化した光学性能が回復されていることを特徴とする多層膜反射鏡（請求項3）」を提供する。

【0014】また、本発明は第四に「X線源から放出されるX線を反射する多層膜反射鏡を有するX線照明装置において、前記多層膜反射鏡が、請求項3に記載の多層膜反射鏡であることを特徴とするX線照明装置（請求項4）」を提供する。上記のように、プラズマから出る飛散物質は、X線を集光する多層膜反射鏡上に堆積し、光学性能（反射率等）を劣化させてしまう。この多層膜

反射鏡の多層膜は、たとえば、Mo等の重元素層とSi等の軽元素を交互に積層させた構造をしている。本発明では、多層膜を表面から所望の量だけ除去することにより、多層膜表面についた飛散物質を取り除く。その結果、飛散物質が付着することによって劣化した光学性能を回復することができ、多層膜反射鏡を光学性能が劣化するたびに新しいものと交換する場合に比べて大幅にメンテナンス費用を下げることができる。また、Si層を表面に出すことにより、Si層以外の層の酸化を防ぐことができ、酸化による多層膜反射鏡の特性変化を防止することができる。

【0015】また、本発明は第五に「X線を発生させるX線源と、前記X線源から放出されるX線を反射する多層膜反射鏡を有するX線照明装置と、前記X線照明装置からのX線をマスクに導く照明光学系と、前記マスクからのX線を感光性基板に導く投影光学系とを有し、前記マスクのパターンを感光性基板へ転写する露光装置において、前記X線照明装置が、請求項4に記載のX線照明装置であることを特徴とする露光装置（請求項5）」を提供する。

【0016】本発明による露光装置では、メンテナンス費用が少なくてすむX線照明装置を有しているため、その分露光装置のメンテナンス費用がかからない。また、本発明は第六に「請求項5に記載の露光装置を用いて、マスク上のパターンをフォトリソが塗布されたウエハ上へ転写する工程を有することを特徴とする半導体デバイスの製造方法（請求項6）」を提供する。

【0017】メンテナンス費用が少ない露光装置を使うため、相対的に半導体デバイス製造のコストを下げることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ説明する。図1は、本発明の実施の形態に係る多層膜反射鏡の概略断面図である。図2は、図1の多層膜反射鏡を有するX線照明装置を搭載した露光装置の全体構成を示す図である。

【0019】まず、露光装置の概要を図2を参照しつつ説明する。この露光装置は、露光用の照明光として、波長13nm近傍の軟X線領域の光（以下、EUV光）を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。

【0020】露光装置1の最上流部には、X線照明装置が設置され、その内部にあるプラズマ光源7は、波長13nm近傍のX線を効率よく発生することができる。EUV光は、大気に対する透過率が低いいため、その光路はチャンバ（真空室）9により覆われて外気と遮断されている。

【0021】プラズマ光源7の上部には、Mo・Si多層膜をコーティングした回転放物面の多層膜反射鏡11が配置されている。プラズマ光源7から輻射されたX線

は、多層膜反射鏡 11 に入射し、波長 13 nm 付近の X 線のみが露光装置 1 の下方に向かって平行に反射される。多層膜反射鏡 11 の詳細な構造については後述する。

【0022】多層膜反射鏡 11 の下方には、厚さ 0.15 nm の Zr (ジルコニウム) からなる可視光カット X 線透過フィルタ 13 が配置されている。多層膜反射鏡 11 で反射された X 線の内、所望の 13 nm の X 線のみが透過フィルタ 13 を通過する。透過フィルタ 13 付近は、チャンバ 15 により覆われて外気を遮断している。

【0023】透過フィルタ 13 の下方には、露光チャンバ 33 が設置されている。露光チャンバ 33 内の透過フィルタ 13 の下方には、照明光学系 17 が配置されている。照明光学系 17 は、コンデンサ系の反射鏡、フライアイ光学系の反射鏡等で構成されており、透過フィルタ 13 から入力された X 線を円弧状に整形し、図の左方に向かって照射する。

【0024】照明光学系 17 の図の左方には、X 線反射鏡 19 が配置されている。X 線反射鏡 19 は、図の右側の反射面 19a が凹形をした円形の回転放物ミラーであり、保持部材により垂直に保持されている。X 線反射鏡 19 は、反射面 19a が高精度に加工された石英の基板からなる。反射面 19a には、波長 13 nm の X 線の反射率が高い Mo と Si の多層膜が形成されている。なお、波長が 10 ~ 15 nm の X 線を用いる場合には、Ru (ルテニウム)、Rh (ロジウム) 等の物質と、Si、Be (ベリリウム)、B₄C (4 ホウ化炭素) 等の物質とを組み合わせた多層膜でも良い。

【0025】X 線反射鏡 19 の図の右方には、光路折り曲げ反射鏡 21 が斜めに配置されている。X 線反射鏡 19 の上方には、反射型マスク 23 が、反射面が下になるように水平に配置されている。照明光学系 17 から放出された X 線は、X 線反射鏡 19 により反射集光された後に、光路折り曲げ反射鏡 21 を介して、反射型マスク 23 の反射面に達する。

【0026】反射型マスク 23 の反射面にも多層膜からなる反射膜が形成されている。この反射膜には、ウエハ 29 に転写するパターンに応じたマスクパターンが形成されている。反射型マスク 23 は、その上部に図示されたマスクステージ 25 に固定されている。マスクステージ 25 は、少なくとも Y 方向に移動可能であり、光路折り曲げ反射鏡 21 で反射された X 線を順次マスク 23 上に照射する。

【0027】反射型マスク 23 の下部には、順に投影光学系 27、ウエハ 29 が配置されている。投影光学系 27 は、複数の反射鏡等からなり、反射型マスク 23 で反射された X 線を所定の縮小倍率 (例えば 1/4) に縮小し、ウエハ 29 上に結像する。ウエハ 29 は、XYZ 方向に移動可能なウエハステージ 31 に吸着等により固定されている。

【0028】露光動作を行う際には、照明光学系 17 により反射型マスク 23 の反射面に EUV 光を照射する。その際、投影光学系 27 に対して反射型マスク 23 及びウエハ 29 を投影光学系の縮小倍率により定まる所定の速度比で相対的に同期走査 (スキャン) する。これにより、反射型マスク 23 の回路パターンの全体をウエハ 29 上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写する。なお、ウエハ 29 のチップは例えば 25 × 25 mm 角であり、レジスト上で 0.07 μm L/S の 1C パターンが露光できる。

【0029】次に、図 1 を参照して本発明の実施の形態に係る多層膜反射鏡の再生方法について説明する。多層膜反射鏡 11 は、基板 41 の上面に Mo 層 43 と Si 層 45 が交互に積層された構造をしており、波長 13 nm の X 線を反射させる。Mo 層 43 と Si 層 45 からなる多層膜は、Si 層 45 を最上層にして例えば 100 層対成膜されている。

【0030】X 線源に利用している放電プラズマ光源は、放電による電極付近の物質をプラズマ化し、そのプラズマから発せられる X 線を利用するものであるが、プラズマによって、電極が削られ、電極物質が飛散物質となって周囲に放出される。このため、多層膜反射鏡 11 に飛散物質 47 が徐々に付着していき (図 1 (A))、付着した飛散物質 47 による吸収のために、多層膜反射鏡 11 の光学性能 (反射率等) が劣化する。多層膜反射鏡の光学性能が、メンテナンスを必要とする程度 (例えば、初期状態の 80% 以下) まで劣化したところで、X 線照明装置から光学性能が劣化した多層膜反射鏡を取り出す。このとき、交換用の多層膜反射鏡を少なくとも 1 個以上用意しておき、この交換用多層膜反射鏡を X 線照明装置に使用して、露光装置のスループットを維持するのが好ましい。

【0031】メンテナンスのために取り出した多層膜反射鏡の多層膜を表面から所望の量だけ除去することにより、飛散物質を取り除き、反射率を回復させる。図 1 (B) では、飛散物質 47 が付着していた最上層の Si 層 45 の一部が除去されている。また、図 1 (C) では、Si 層が表面に出るように多層膜を 1 層対以上除去している。多層膜反射鏡の光学性能を回復させるために行う多層膜の除去は、飛散物質による汚染量等を考慮して、イオンビーム加工又は研磨等によって行われる。このように飛散物質を取り除いて光学性能が回復された多層膜反射鏡を、交換用の多層膜反射鏡として保管し、メンテナンス時には再び X 線照明装置に戻し、露光に使用する。このように、簡単な作業で多層膜反射鏡の光学性能を回復させることができるので、X 線照明装置、つまりは X 線露光装置のメンテナンス費用を低く抑えることができる。

【0032】次に上記説明した露光装置を利用した半導体デバイス製造方法の実施例を説明する。図 3 は、半導

体デバイスの製造方法の一例を示すフローチャートである。この例の製造工程は、主に、ウエハを製造又は準備する工程（S1）、露光に使用するマスクを製造又は準備する工程（S2）、ウエハに必要な加工処理を行うウエハプロセス工程（S3）、ウエハ上に形成されたチップを1個ずつ切り出し、動作可能に組み立てるチップ組立工程（S4）、組み立てられたチップを検査するチップ検査工程（S5）からなる。

【0033】なお、各工程は、さらにいくつかのサブ工程を含んでいる。S3のウエハプロセス工程は、半導体デバイスの性能に大きな影響を及ぼす工程である。この工程では、設計された回路パターンをウエハ上に順次積層させ、メモリやMPUとして動作するチップを多数形成する。このウエハプロセス工程は以下の工程を含んでいる。

（1）絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、あるいは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程（CVDやスパッタリング等を用いる）。

（2）形成された薄膜層やウエハ基板を酸化する酸化工程。

（3）薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するためにマスク（レチクル）を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィー工程。

（4）レジストのパターンにしたがって薄膜層やウエハ基板を加工するエッチング（例えばドライエッチング）工程。

（5）イオン・不純物注入拡散工程。

（6）レジスト剥離工程。

（7）加工されたウエハを検査する検査工程。

【0034】なお、ウエハプロセス工程は必要な層数だけ繰り返す行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。上述の（3）リソグラフィー工程は、特にウエハプロセス工程の主要部分である。

【0035】図4は、リソグラフィー工程を説明するフローチャートである。リソグラフィー工程は以下の工程を含む。

（S31）前段の工程で回路パターンが形成されたウエハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程。

（S32）レジストを露光する露光工程。

（S33）露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程。

（S34）現像されたレジストパターンを安定化させるためのアニール工程。

【0036】このリソグラフィー工程の露光工程（S32）において、上述の露光装置1を用いる。すなわち、X線照明装置から光学性能が劣化した多層膜反射鏡を取り出し、上述の多層膜反射鏡再生方法を適用して光学性

能を回復させる。そして、再生した多層膜反射鏡をX線照明装置に用い、露光装置1で露光を行う。これにより、露光装置のメンテナンス費用が低くてすむため、製造コストを抑えて半導体デバイスを製造することができる。

【0037】以上、本発明の実施の形態に係る多層膜反射鏡について説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、様々な変更を加えることができる。

【0038】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、X線源からの飛散物質による多層膜反射鏡の光学性能の劣化を簡単な方法で回復することができる。したがって、X線照明装置、露光装置のメンテナンス費用を低減することができるとともに、製造コストを抑えて半導体デバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る多層膜反射鏡の概略断面図である。

【図2】図1の多層膜反射鏡を有するX線照明装置を搭載した露光装置の全体構成を示す図である。

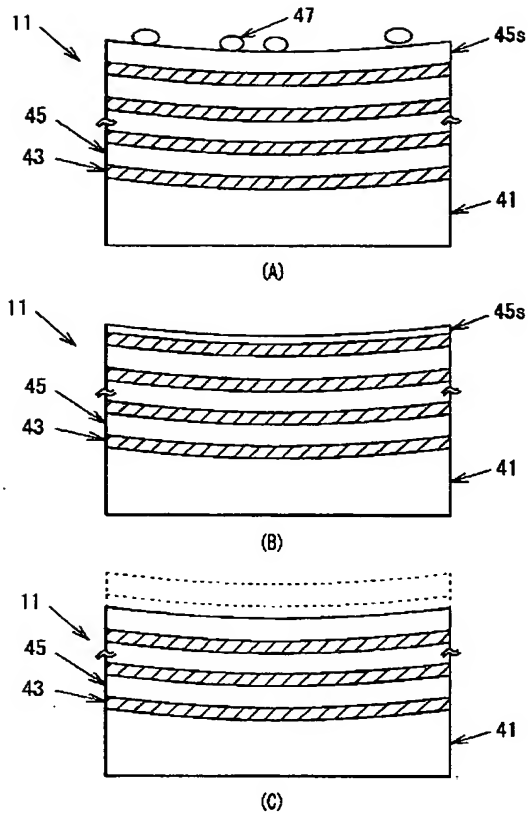
【図3】半導体デバイスの製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図4】リソグラフィー工程を説明するフローチャートである。

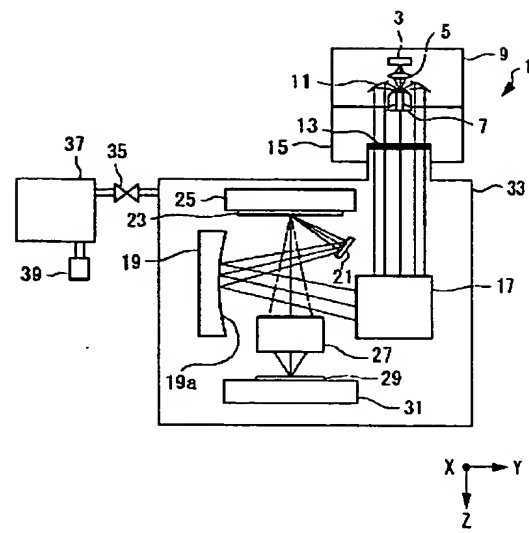
【符号の説明】

- 1・・・X線露光装置
- 3・・・光源モニタ用センサ
- 5・・・結像レンズ
- 7・・・プラズマ光源
- 9・・・チャンバ
- 11・・・多層膜反射鏡
- 13・・・X線透過フィルタ
- 15・・・チャンバ
- 17・・・照明光学系
- 19・・・X線反射鏡
- 21・・・光路折り曲げ反射鏡
- 23・・・反射型マスク
- 25・・・マスクステージ
- 27・・・投影光学系
- 29・・・ウエハ
- 31・・・ウエハステージ
- 33・・・露光チャンバ
- 41・・・基板
- 43・・・M₀層
- 45・・・Si層
- 47・・・飛散物質

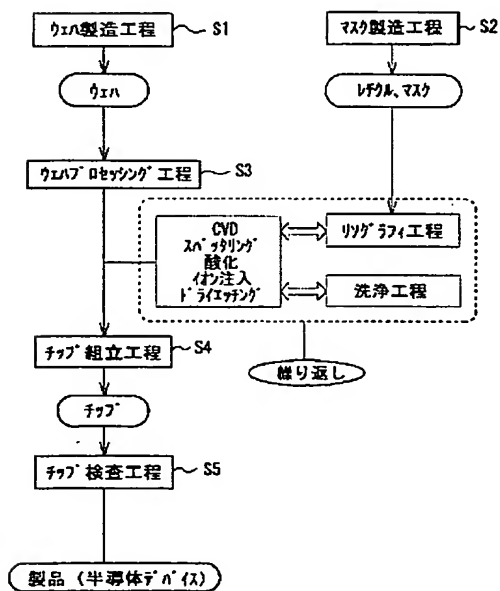
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

